

Weltraum-Ozeanographie

Der synoptische Anblick des Ozeans aus dem Weltraum

Von Prof. Dr. Robert E. Stevenson*,
Research Oceanographer, US Fish and Wildlife Service, Bureau of Commercial Fisheries,
Galveston, Texas (USA)

Obwohl unser Wissen vom Ozean, besonders in den letzten Jahrzehnten, rapide zugenommen hat, stehen die Ozeanographen noch immer vor dem Problem, das sich bereits gegen Ende des 19. Jahrhunderts stellte, nämlich dem Mangel an synoptischen Daten. Vermessungen bei gleichzeitigem Einsatz mehrerer Schiffe können nur einen kleinen Teil des Ozeans erfassen und dies nur für eine begrenzte Zeitperiode. Sie stellen daher keine wirkliche Lösung des Problems dar. Es wurde vorgeschlagen, ein weltumspannendes Netz von automatischen Hochseebojen zu schaffen. Ein Bojenetz, das den meteorologischen Stationen auf den Landgebieten der Erde vergleichbar wäre, würde einige 30 000 Bojen erfordern. Wegen der erheblichen Kosten sind die Aussichten für die Verwirklichung dieses Projektes nicht sehr groß. Der Einsatz von Weltraumfahrzeugen hingegen gewährt eine völlig neuartige, bisher nicht bekannte Sicht auf Teile der Weltmeere und ermöglicht somit eine echte Synopsis. Einige der Aufnahmen, die bei Einsätzen von Gemini- und Apollo-Raumkapseln gewonnen wurden, zeigen so eindrucksvolle Einzelheiten, daß man nicht umhinkann, über die Zukunft der „Weltraumozeanographie“ sehr optimistisch zu sein. Einige dieser Bilder sind auf den folgenden Seiten wiedergegeben.

Die ersten Berechnungen der Wahrscheinlichkeit, daß nützliche ozeanographische Daten aus dem Weltraum gewonnen werden können, waren nicht ermutigend. Photographien, die die Astronauten im Rahmen des Gemini-Programms der NASA gewonnen haben, lieferten indessen Informationen, die uns zu der Ansicht führen, daß überaus nützliche und bis dahin nicht erreichbare Daten durch orbitale Satellitensysteme gewonnen werden können.

Ein die Erde umkreisender Raumflugkörper bietet die Möglichkeit einer umfassenden, ständig sich wiederholenden synoptischen Beobachtung der Weltmeere. Das System zur Gewinnung der notwendigen Daten muß noch entworfen werden. Die bisher dem Ozeanographen zur Verfügung stehende Information stammt aus photographischen Aufnahmen. Registrierungen in anderen Wellenlängenbereichen des elektromagnetischen Spektrums würden das Bild ergänzen und abrunden. Die nachfolgend veröffentlichte Auswahl von Aufnahmen zeigt eindringlich, welche bisher noch nicht ausgeschöpften Möglichkeiten in den Satellitenbildern liegen.

Wolken über der Insel Guadalupe (Bild 1)

Das Meerwasser vor der Küste von Kalifornien und der sich südlich anschließenden Halbinsel Niederkalifornien ist kühl infolge der vorherrschenden Strömung, die im Ostpazifik von Nord nach Süd verläuft. Stratus- und Stratokumuluswolken bilden sich über dem kühlen Wasser und sind fast ständige charakteristische Gebilde der Atmosphäre über dem Meer. Auch die atmosphärische Zirkulation über diesem Teil des Pazifischen Ozeans verläuft gewöhnlich von Nord nach Süd, wenngleich sie auch entsprechend den jahreszeitlichen Änderungen im Hochdrucksystem von Hawaii schwankt und örtlichen Verhältnissen unterliegt, wie sie jeder Küste eigentümlich sind.

* Geb. 1921; Hauptarbeitsgebiete: Ozeanographie und marine Geologie.
Contribution Nr. 277, Bureau of Commercial Fisheries, Biological Laboratory, Galveston, Texas.

Eine tiefe Schicht von Stratokumuluswolken bewegte sich mit 3 bis 5 m/sec an der Insel Guadalupe vorbei, als das Raumschiff Gemini 5 die Gewässer bei Niederkalifornien (Baja California) überquerte.

Die Bergspitzen der Insel, die bis 1500 m emporragen, kommen durch die Wolkenschicht hindurch zum Vorschein und stehen mit ihr in Wechselwirkung. Eine Art Bugwelle, ähnlich wie die von einem Schiff, breitet sich vom Nordende der Insel her aus. Weiter stromabwärts werden südlich der Insel die aus der Aerodynamik bekannten von-Kármán-Wirbel, die sich nach rechts und nach links drehen, als eine Art turbulentes Kielwasser der Insel gebildet. Diese Wolkenbildungen, Wellen und Wirbel wurden bei vier Geminieinsätzen photographiert. Sie müssen daher als eine klimatische Eigentümlichkeit der marinen Atmosphäre von Guadalupe angesehen werden. Ähnliche Wellen und Wirbel erscheinen auch im Wasser bei der Umströmung anderer Inseln. Diese Strömungserscheinungen müssen weiter untersucht werden.

Aufsteigendes Wasser bei Taiwan (Bild 2)

Im westlichen Pazifik verläuft das Hauptströmungssystem von Süd nach Nord an der Insel Taiwan vorbei. In der näheren Umgebung der Insel und insbesondere in der Straße von Formosa werden die Strömungen jedoch durch die Gezeiten kompliziert, die entlang der Südküste von Taiwan nach Süden zu abnehmen.

Am 19. Juli, dem Tag bevor die in Bild 2 wiedergegebene Aufnahme gemacht wurde, befand sich der tropische Wirbelsturm „Nina“ ungefähr 167 km östlich von Taiwan. Der Sturm war nicht gut entwickelt, und Winde der Beaufort-Skala 3 waren die stärksten, die verzeichnet wurden. Am 20. Juli um 12 Uhr Greenwich-Zeit hatte sich der Sturm aufgelöst und Winde der Stärke 2 bliesen von Osten her um Taiwan.

In Bild 2 ist das helle Blau des Meeres die Folge einer diffusen Sonnenreflexion an einer gleichmäßig rauhen Meeresoberfläche. Winde aus Ost und Nordost haben



Der Ozean im Gemini-Photo

Hier ein Blick auf Florida (rechts), die Bahama-Inseln (links) und Kuba (oben) aus einer Höhe von etwa 200 km.

Titlebild

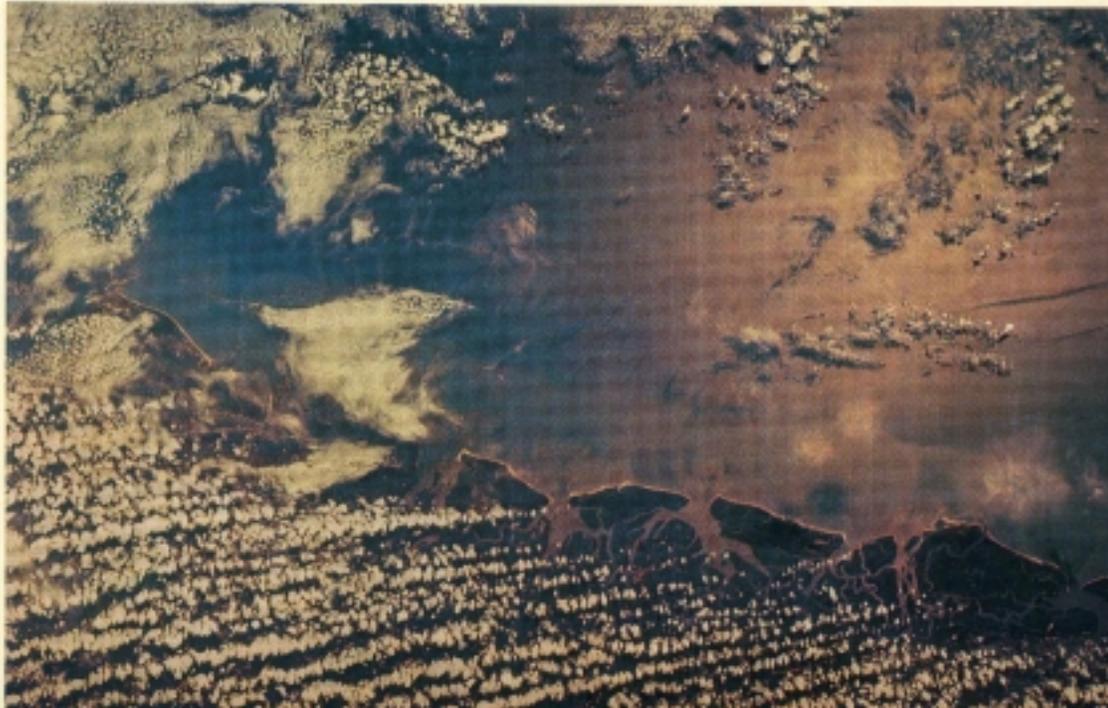


Bild 1: Wolkenströmung bei der Insel Guadaloupe, aufgenommen aus einer Höhe von 240 km während des Geminifluges 5 am 21. 8. 1965 durch die Astronauten Lt. Col. L. G. Cooper und Cdr. Charles Conrad, jr. mit 89 mm Brennweite. Norden ist links. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color No. 805-45697.



Bild 2: Die Insel Taiwan im Pazifischen Ozean, aufgenommen aus einer Höhe von 190 km beim Geminiflug 10 am 20. 7. 1966 durch die Astronauten Cdr. John W. Young und Maj. Michael Collins, 80 mm Brennweite. Norden ist links. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color Nr. 806-45858.

Bild 3: Der Atlantik und die Küste von Georgie, aufgenommen aus einer Höhe von 285 km beim Flug des unbemannten Raumschiffes Apollo 502 am 4. 4. 1968, 70 mm Brennweite. Norden ist links. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center No. A88-2-1485.



die Rauheit der nach Norden strömenden Gewässer erhöht. Das gespiegelte Reflexmuster, das die Meeresoberfläche bietet, gibt somit ein Bild der eigentümlichen Wasserbewegung um das Südende von Taiwan herum.

Der Hauptstrom wird durch die Insel geteilt, so wie ein Schiff das Wasser zerteilt. In dem Maße, wie sich die „Bugwelle“ von der Insel her ausbreitet, muß in Küstennähe Meerwasser aus der Tiefe aufsteigen, was in *Bild 2* an der dunkelblauen Farbe kenntlich ist. An der Westküste (in *Bild 2* unten) befindet sich unmittelbar in Küstennähe das Hauptgebiet der Sardinenfischerei der Formosastraße.

Die Küste von Georgia (Bild 3)

Zu Beginn der dritten Umlaufbahn von Apollo 502 überflog das Raumschiff die Küste des Staates Georgia am späten Vormittag. Die Sonne lieferte ein hervorragendes, glitzerndes Reflexmuster an der Meeresoberfläche. Der Wind kam aus Südost (3 m/sec), parallel zu den langen Streifen von Kumuluswolken, die über dem Festland von Georgia lagen und wie lange Girlanden aus Puffmais aussahen.

Die Flußmündungen, die Lagunen, die Wattengebiete und die Georgia vorgelagerten Inseln sind auf dieser Aufnahme deutlich zu sehen. Die rötlichgoldene Farbe rührt her von der Reflexion der Sonne an der Meeresoberfläche und von den Gewässern in den Gezeitenstromrinnen der Marschgebiete und Lagunenkomplexe der Küste.

Es ist deutlich zu sehen, wie sich im Wasser die Sedimente abheben, welche aus den Flußmündungen an der Küste abgelagert wurden. Vor der Küste sieht man lange Schlieren in einer von Nordwest nach Südost laufenden Richtung angeordnet. In Küstennähe hatte das Wasser mit geringem Salzgehalt eine etwas rauhere Oberflächenstruktur als das Wasser weiter draußen. Außerhalb des Gebietes der Sonnenreflexion nördlich entlang der Küste, etwa bei Savannah (links in *Bild 3*), markiert die Trübung des Wassers die äußere Begrenzung der Küstengewässer. Das Abbiegen der glänzenden Muster zeigt den Transport von küstenfermem Wasser in die südlich strömenden Küstengewässer, insbesondere in der Mitte des Bildes.

Entlang der Küste von Georgia gibt es hervorragende Fischgebiete für Menhaden (*brevoortia tyrannus*) und Garnelen, die einen Teil ihres Lebens in den Küstenlagunen und Flußmündungen verbringen. Wenn sie von dort in den offenen Ozean hinauswandern, ist ihr Weg für die Fischer von großer Wichtigkeit. Man kann leicht sehen, wie die lokalen Strömungen in diesem Gebiet sich bis etwa 18 km weit (im Bild etwa 30 mm) über die Küstenlinie der Inselbarriere von Georgia hinaus erstrecken.

Eine Divergenz vor Florida (Titelbild)

Diese sehr schräg aufgenommene Photographie ist nicht nur eindrucksvoll hinsichtlich des erfaßten Gebietes und des allgemeinen Anblicks, den sie bietet, sondern sie hat auch einige sehr nützliche ozeanographische Informationen geliefert. Der Blick geht nach Südwesten. Die Florida-Riffe (Keys), die Marquesas-Inseln und die Dry Tortugas (*Karte 1*) liegen in der Mitte des Sonnenreflexes auf dem Meer. Nach links zu befinden sich die kleine

Bahama-Bank, mit der großen Bahama-Insel unter Kumuluswolken, und die kleine und große Abaco-Insel. Eleuthera ist fast völlig unter Wolken verborgen, aber New Providence Island mit der Stadt Nassau sind zwischen zwei Wolkenlinien zu sehen. Die große Bahama-Bank mit den Inseln Andros und Bimini erstreckt sich nach Süden in Richtung auf die Ostprovinz von Kuba. Ost- und Zentralkuba haben eine dichte Wolkendecke, aber das Gebiet um Havanna und die Isla de Pinos ist ziemlich klar. In der Nähe des Horizontes, weit nach Westen zu, befindet sich die Halbinsel Yucatán, die auf unserem *Titelbild* nur noch ganz schwach zu erkennen ist.

Der Wind wehte nach Südwest über die Bahama-Inseln, aber er drehte sich über Kuba und Florida mehr nach West. Auch ohne Daten von Wetterstationen sind die Strömungslinien des Windes deutlich aus den Wolkenlinien abzulesen. Schlierenartige helle Streifen deuten auf geringere Wellentätigkeit und demzufolge glatteres Wasser hin; sie sind auf der dem Wind abgewandten Seite (Lee) von Inseln, Untiefen und Landspitzen zu sehen. Diese Muster sind nur deshalb sichtbar, weil die Reflexe in das Gesichtsfeld fallen. Die Spiegelung differiert entsprechend den Oberflächen unterschiedlicher Struktur. Infolgedessen können helle Flecken (= ruhiges Wasser) ausgemacht werden westlich von Cap Sable in Florida und westlich der Halbinsel von Zapata, Isla de Pinos und Cabo San Antonio.

Ein anderes, hellglänzendes Gebiet liegt vor der Westküste von Florida. Hier ist das Wasser bewegt und verursacht eine diffuse Reflexion des Sonnenlichts. Dazwischen befindet sich dunkleres, blaues (ruhigeres) Wasser. Aus der Tatsache, daß sich dieses ruhige Wasser nicht in Küstennähe befindet und somit nicht als Lee-Effekt entsteht, ergibt sich die Folgerung, daß dieses Wasser sich mit dem Wind bewegt. Folglich ist der dem Lande zugewandte Rand des dunkelblauen Wassers eine Divergenz, an der Wasser aus tieferen Gebieten zur Oberfläche aufsteigt. Es ist kaum ein Zufall, daß sich hier ein wichtiges Fischereigebiet befindet.

Die Nase des Raumfahrzeuges weist auf den küstennahen Teil einer Linie von Kumuluswolken, die beständig die landseitige Grenze des Golfstroms markiert. Nur wenn tropische Störungen oder Zyklonen sich durch den Himmel von Florida bewegen, verschwindet diese Kumulusreihe. Sie kehrt aber bald wieder als ein typischer Zug des dortigen Klimas.

Der Ozeanograph, der Meteorologe und auch der Geologe können aus dieser Aufnahme sehr viel lernen.

Der trübe Golf von Martaban (Bild 4)

Diese über Birma gewonnene Photographie gibt ein vorzügliches Bild des Tieflandes, mit dem das Hauptdelta des Irawady wie ein Lappen etwa 150 km nach Süden in die nördliche Andamanensee hineinragt (*Karte 2*). Ferner sind das trübe Wasser im Golf von Martaban und die nordwestliche Küstengegend der birmesischen Halbinsel gut ausgeprägt. Da die Aufnahme frühmorgens gemacht wurde, ist das östliche Landgebiet ziemlich dunkel. Das ganze Gebiet ist ungewöhnlich frei von Wolken. Dies ist typisch für den Monat November nach dem Sommermonsun.

Das trübe Wasser im Golf von Martaban entstammt offensichtlich Flüssen, die nach Süden in den Nordteil des Golfes strömen. In dieser Jahreszeit und während

einiger Monate nach dem Südwestmonsun ist der Irawady stark mit Sinkstoffen beladen. Man kann gut erkennen, wie trübe Wasser aus dem Mündungsdelta des Irawady in den Golf von Martaban einströmen. Der Südwestmonsun hat West-Ost-Strömungen erzeugt, welche die schwebenden Sedimente in den Golf von Martaban hintransportieren.

Die allgemeine Zirkulation in der Bucht von Bengalen, wie sie in den Segelanweisungen für dieses Gebiet angegeben ist, verzeichnet eine Wasserströmung nach Westen aus dem Golf von Martaban heraus. Die Windrichtung für November ist auf den Karten der genannten Segelanweisung als ebenfalls westlich angegeben. Die Aufnahme *Bild 4* zeigt, daß offensichtlich das Gegenteil der Fall ist.

Die Sedimentation (hauptsächlich schllickiger Sand und toniger Schlick) beschränkt sich auf das Delta des Irawady und den Golf von Martaban, wie diese Gemini-Aufnahme zeigt. Die Grenze der Sedimentation stimmt ziemlich genau mit der äußeren Begrenzung des trüben Wassers überein.

Die Grenze des trüben Wassers liegt auch recht genau über einem steilen Abfall des Schelfgebietes. 30 km vor der Mündung des Irawady-Deltas findet sich ein deutlicher Abfall des Meeresbodens. Näher an der Küste ist der Meeresboden infolge junger Sedimentierung flach und seicht. Der äußere Deltaschelf hat beträchtlich mehr Relief, wird aber ständig durch Sedimentation verändert.

Im Laufe des Juli 1967 verbrachten Wissenschaftler an Bord des amerikanischen Küsten- und geodätischen Vermessungsschiffes, Oceanographer, zwei Wochen mit dem Studium der Gewässer vor dem Irawady-Delta. Die Analyse der Daten der Fahrt ist noch nicht abgeschlossen; die Gemini-Farbaufnahme wird bei der Auswertung eine große Hilfe darstellen.

Fischgründe und Küstenverlauf (Bild 5)

Der südliche Golf von Kalifornien mit der Stadt La Paz zur Rechten und dem mexikanischen Festland zur Linken wurde von den Gemini-11-Astronauten am 14. 9. 1966 beobachtet. Der Rand der Sonnenreflexion von der Meeressfläche befindet sich im oberen Teil der Aufnahme.

Von Interesse sind hier die hellen Strukturen zwischen der Küste von La Paz und der Insel Cerralvo (La Paz am oberen Ende der Bucht, Cerralvo oben rechts), die gerade Wolkenreihe nördlich davon und die große Konvergenz unter einer langen Reihe von Kumuli, die sich quer über den Golf zu den Lagunen der mexikanischen Festlandküste erstreckt. Das Reflexionsmuster deutet Wasserbewegung durch die Meerenge hindurch an mit einem turbulenten Wirbel nördlich Cerralvo. Eine Konvergenzlinie im Wasser und in der darüberliegenden Luft befindet sich nordöstlich der Insel.

Besonders eindrucksvoll ist aber die Konvergenz, die sich in nordost-südwestlicher Richtung auf das mexikanische Festland hin erstreckt. Die Flut strömt nach Norden (in *Bild 5* unten) in den Golf von Kalifornien ein. Zu der Zeit dieser Aufnahme begegneten sich zwei verschiedene Wassermassen in dem Gebiet, das durch die Reihe von Kumuluswolken markiert ist: einerseits die einströmende Flut, andererseits das von der vorangegangenen Ebbe übriggebliebene Wasser. Das Ergebnis ist eine kräftige Konvergenz von Wassermassen unterschiedlicher Temperatur, die durch eine darüberliegende Kumulusreihe markiert ist.

An diesem Tage herrschten östliche Winde, und daher bildete sich die Kumuluslinie auf der warmen Seite der Konvergenz. Allerlei Treibgut und Nahrungsstoffe, die in der Konvergenz konzentriert sind, liefern ein hervorragendes Futter für große Schwertfische u. ä. Die Konvergenzlinie markiert die großen Marlin-Fischgründe von Niederkalifornien.

Wasserströmungen um die Bahama-Bänke (Bild 6)

Ein hervorragendes Beispiel für Wechselwirkungen von Land- und Seeluft liefern Aufnahmen eines Teiles der Bahama-Inseln. In *Bild 6* kann man die Bucht von Florida, die Florida-Riffe und die Florida-Straße unter der offenen Tür des Raumschiffes sehen. Auf der anderen Seite der Florida-Straße befindet sich der nördliche Teil der großen Bahama-Bank, die Insel Bimini, die Inselgruppe der Berrys, der nördliche Teil der Andros-Inseln, die Insel New Providence mit der Stadt Nassau. Unter der Nase der Agena-Rakete befinden sich die große Bahama-Insel, die kleine Bahama-Bank und Wolken, die über den Wassern des Golfstroms liegen.

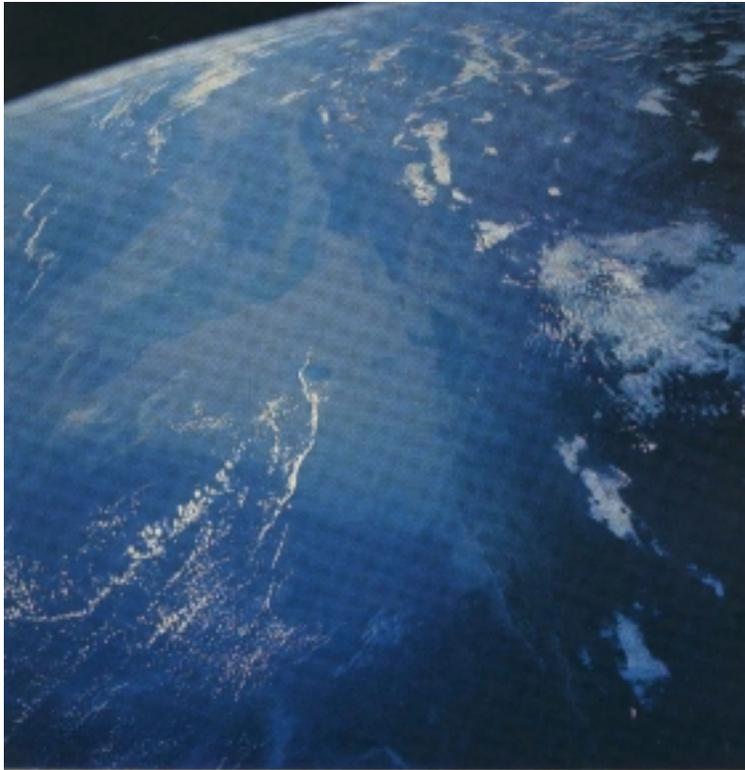
Diese Aufnahme ist besonders interessant wegen der klar umrissenen, flachen, kalkhaltigen Sandbänke der großen und kleinen Bahama-Bank. Unmittelbar südlich der Insel Bimini befindet sich eine Anzahl großer mehr oder weniger U-förmig ausgebildeter Streifen, die das Hinüberströmen von Wasser in das Flachwassergebiet der großen Bahama-Bank hinein kennzeichnen. Ähnliche Überströmungsmarken gibt es rund um die Berry-Inselgruppe und um die Nordspitze der Insel Andros. Offensichtlich fließt in jedem dieser Gebiete auflaufendes Wasser zum Zentrum der großen Bahama-Bank. Unmittelbar unter der Tür des Raumfahrzeugs sieht man eine lange Sandbank, an der auflaufendes Wasser zusammenströmt. Bei Ebbe fließen diese Wassermassen in den Kanal zwischen der großen Bahama-Bank und der großen Bahama-Insel zurück, gelangen in den Golfstrom und damit weiter nach Norden in den Atlantischen Ozean.

Die flutenden Wassermassen, die diese großen, prächtigen Strukturen bilden, sind das Ergebnis starker Sturzseen, die hauptsächlich durch Hurrikan-Winde auf dem Meer gebildet wurden. Es gibt also eine ganze Folge von zusammenwirkenden Ereignissen, die der Gestalt der durch die Gezeiten überstömten Untiefen ihr Siegel aufpressen. Wenn man die 8 bis 60 km langen Sandbänke betrachtet, kann man sich leicht ein Bild machen von der Stärke der atmosphärischen Winde über der See, die die brandenden Wassermassen erzeugen, welche dann über die flachen Bahama-Bänke rollen.

Wolken, Winde und Konvergenzen (Bild 7)

Die Verteilung von suspendierten Sedimenten in Küstengewässern und die veränderliche Trübung des Wassers können dazu dienen, die Bewegungen von Küstengewässern zu bestimmen. Was es bedeutet, 6000 km² Küstengewässerbewegung in einem Augenblick zu übersehen, kann kaum hoch genug eingeschätzt werden.

Entlang der Küste von Surinam (Nordküste von Südamerika) breitete sich am 21. Juli 1966 das von den Flüssen abgegebene, mit Sedimenten beladene Wasser entlang der Küste nach Westen aus. Etwa 15 km weiter von der Küste entfernt zeigt die Trübung des Wassers eine Strömung nach Osten an (diese feinen Strukturen gehen leider im Klischee verloren). Die allgemeine Strömungsrichtung in diesen Teilen des tropischen Atlantik



4 Bild 4: Die Bucht von Bengalen, Birma und die Flüsse Irawady und Salween, aufgenommen aus einer Höhe von 350 km beim Geminiflug 12 am 13. 11. 1966 durch die Astronauten Capt. James A. Lovell, jr. und Lt. Col. Edwin E. Aldrin, jr. mit einem Biogon-Weitwinkel-Objektiv, 38 mm Brennweite. Norden ist oben. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color No. 566-62070.

Bild 5: Der Golf von Kalifornien, Norden ist unten. Rechts Niederkalifornien, die Stadt La Paz (am oberen Ende der Bucht), die Inseln Santa Cruz (ganz unten), San Diego, San José, Espíritu Santo und oben schieflich die Insel Cerralvo, aufgenommen aus einer Höhe von 390 km beim Geminiflug 11 am 14. 9. 1966 durch die Astronauten Cdr. Charles Conrad, jr. und Cdr. Richard F. Gordon, jr., 80 mm Brennweite. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color No. 566-54870.

Bild 6: Die Bahama-Insel, die Bucht von Florida, die Florida-Riffe und die Meerenge von Florida, aufgenommen aus einer Höhe von 330 km beim Geminiflug 12 vom 12. 11. 1966 durch die Astronauten Capt. James A. Lovell, jr. und Lt. Col. Edwin E. Aldrin, jr. mit einem Biogon-Weitwinkel-Objektiv, 38 mm Brennweite. Norden ist unten. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color No. 566-62008.



5 Bild 7: Die Küste von Swaziland an der Nordküste Südamerikas, aufgenommen aus einer Höhe von 250 km beim Geminiflug 10 vom 21. 7. 1966 durch die Astronauten Cdr. John W. Young und Maj. Michael Collins, 80 mm Brennweite. Norden ist oben. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color No. 565-49056.

Bild 8: Indien, Ceylon und ein Teil des Indischen Ozeans, aufgenommen aus einer Höhe von 580 km beim Geminiflug 11 am 14. 9. 1966 durch die Astronauten Cdr. Charles Conrad, jr. und Cdr. Richard F. Gordon, jr. mit einem Biogon-Weitwinkel-Objektiv, 38 mm Brennweite. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color No. 565-54677.

Bild 9: Insel Guadalupe im Pazifik, Niederkalifornien und ein Teil des Festlandes von Mexiko, aufgenommen aus einer Höhe von 340 km beim Geminiflug 12 am 13. 11. 1966 durch die Astronauten Capt. James A. Lovell, jr. und Lt. Col. Edwin E. Aldrin, jr. mit einem Biogon-Weitwinkel-Objektiv, 38 mm Brennweite. Norden ist links. National Aeronautics and Space Administration/Manned Spacecraft Center Color No. 566-63492.



6

ist nach Westen gerichtet mit Geschwindigkeiten von 0,5 bis 1,5 m/sec. Das von den trüben Wassermassen erzeugte Muster stellt daher Strömungen parallel zur Küste dar.

Die Umstände, unter denen diese Strömungen und Scherungszonen entwickelt werden, sind nicht bekannt, und eine beträchtliche Arbeit detaillierter ozeanographischer Forschung muß noch geleistet werden, um die aus dem Raumfahrzeug gewonnenen Daten richtig zu deuten. Man vermutet als Ursache der Strömungen vor den Küsten von Surinam die Gezeiten. Hier geht die Flut nach Osten und die Ebbe nach Westen.

Die sich nach Nordost erstreckenden Kumulusreihen erzeugen eine Konvergenz der unteren Atmosphäre, die man auch als die maritime Reibungsschicht betrachten kann. Es handelt sich nicht um bedeutende Konvergenzen, wie etwa bei einem Frontensystem, und die dabei entstehenden Winde und Drücke würden auf der üblichen synoptischen Wetterkarte nicht erscheinen.

Unter gewissen Umständen setzen die in die atmosphärische Konvergenz einströmenden Winde das oberflächennahe Wasser in Bewegung und bilden so eine Konvergenz im Meer. Diese Verhältnisse herrschten offensichtlich vor Surinam am 21. Juli, wo die Wolkenreihen deutlich mit Grenzlinien trüben Wassers verbunden sind.

Meeresbrise über dem Indischen Ozean (Bild 8)

Der wolkenlose Himmel über der ganzen Küste von Indien ist wahrscheinlich das Ergebnis absinkender Luft, wie sie während der tagsüber wehenden Meeresbrise zu erwarten ist. Die Wetterkarte von 12 Uhr Greenwich-Zeit — 5 Stunden, nachdem Bild 8 aufgenommen wurde — zeigt, daß die Winde an allen Küsten landeinwärts wehen. Über Zentralindien war die Luft ruhig, und es herrschte ein leichtes Tiefdrucksystem über dem nördlichen Teil des Subkontinents. Die Lufttemperatur betrug ungefähr 27 °C, und im Inland waren die Temperaturen 3 bis 5 °C höher. Die Verhältnisse waren typisch für einen Tag mit Meeresbrise.

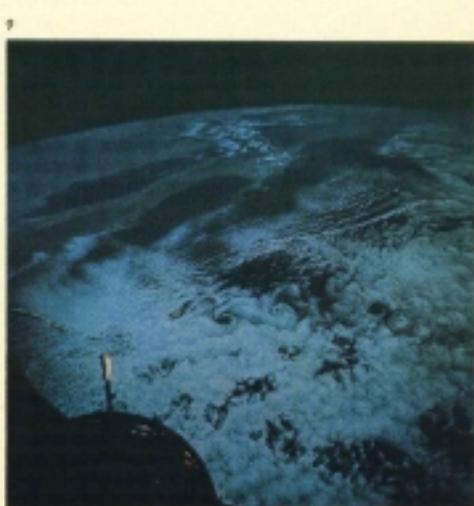
Die Möglichkeit, ein solches System im ganzen zu „se-



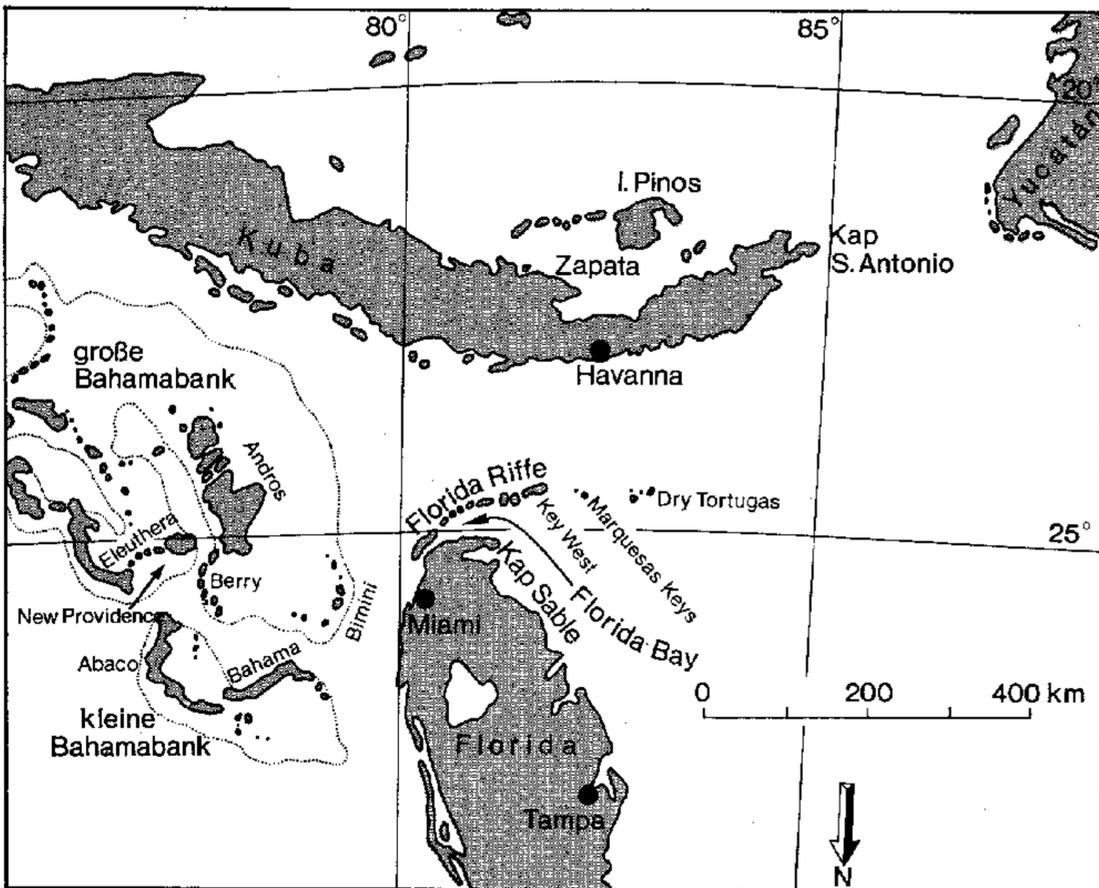
7



8

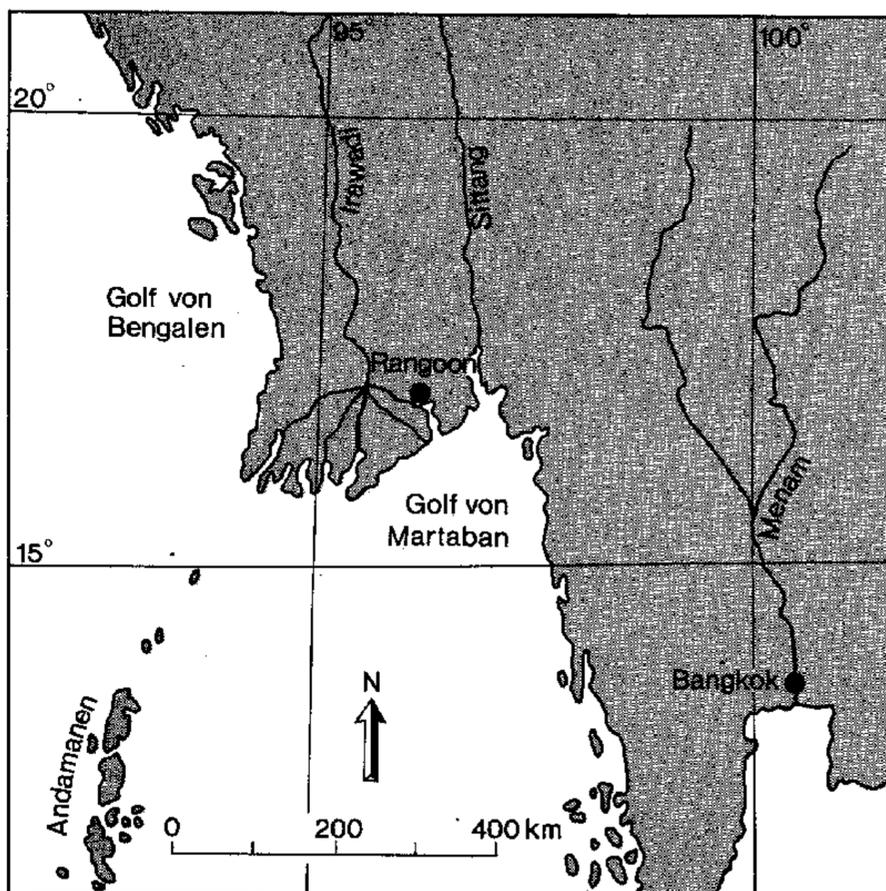


9



Karte 1: Südspitze von Florida, Bahama-Inseln und Kuba zum besseren Verständnis des Titelbildes und des Bildes 4. Aus Vergleichsgründen steht die Karte auf dem Kopf.

Karte 2: Birma und Thailand; zu Bild 4.



hen“ ist ungeheuer wichtig. Man kann nicht nur zum ersten Male messen, wie weit die Meeresbrise auf der Seeseite reicht, sondern für eine ganze Küste lassen sich die Winddrift an der Meeresoberfläche, Gebiete möglicher Aufquellvorgänge und Konvergenzen, synoptisch auftragen. Gäbe es eine solche Übersichtsschau täglich, wäre ihr Wert für Fischerei, Schifffahrt und Meteorologie unschätzbar.

Seeseitig der Zone der Meeresbrise zeigen polygonale Bénardzellen von Kumuluswolken eine gleichmäßige Verteilung von Wassertemperatur und das Fehlen von Oberflächenwinden an.

Bénardzellen über Niederkalifornien (Bild 9)

Die Wolken westlich und nordwestlich der Insel Guadalupe (in Richtung auf das Raumfahrzeug) hatten an dem Tag dieser Aufnahme konvektive, polygonale Bénardzellen gebildet. Es handelt sich dabei um ein Wolkenmuster, das nur bei reiner Konvektion ohne horizontale Luftbewegungen entsteht und das nach dem Franzosen *Bénard* benannt ist. Entweder herrschen Aufwinde im Zentrum und Abwinde an den Rändern oder umgekehrt.

Eine Anzahl von Gebieten offener Zellen war zwischen den gewöhnlich geschlossenen Zellen der Stratokumuluschicht verteilt. Die meisten Zellen westlich der Insel waren regelmäßig geformt, manche waren typisch hexagonal.

Die erforderlichen Voraussetzungen für die ideale Entwicklung von Bénardzellen über dem Meer sind die gleichen wie sie *Bénard* (1900) und *Avsec* (1939) festgestellt haben und z. T. von *Schneck* und *Veronis* (1967) auf Grund theoretischer Überlegungen angegeben wurden. Die untere Begrenzungsfläche (das Meer) muß gleichmäßig erwärmt sein mit einem nur schwachen Temperaturgradient. Die darüberliegende maritime Atmosphäre darf keine wesentliche horizontale Bewegung (Wind) aufweisen; sie sollte hinreichend Feuchtigkeit enthalten, um Kondensation zu ermöglichen, und sie sollte kühler sein als das Meer, so daß es zu entsprechender Konvektion kommt. Jede Abweichung von diesen Bedingungen bewirkt entweder, daß die Zellenstruktur vom Ideal abweicht oder daß es überhaupt keine sichtbaren Zellen gibt.

Nördlich von Guadalupe waren die Zellen deformiert und zeigten nach Süden gerichtete Verlängerungen. Zwischen der Insel und der Westküste von Niederkalifornien bezeichnet eine starke Verlängerung der Bénardzellen eine gut ausgeprägte atmosphärische Scherung, die Guadalupe nördlich und südlich passiert.

Das Nebeneinander von offenen und geschlossenen Bénardzellen liefert eine Grundlage für interessante Überlegungen, besonders hinsichtlich der fast ständigen Temperaturinversion über diesen kühlen Wassermassen. Gewöhnlich ist über tropischen Gewässern die Konvektion vertikal ungehindert, im Gegensatz zu dem völligen Abschluß bei den Experimenten, welche *Bénard* und *Avsec* durchgeführt haben, wobei eine durchsichtige Abdeckung über einer Wolkenkammer angebracht war. Normalerweise würde über dem Ozean kein solcher „Deckel“ vorkommen. Folglich würde das Gleichgewicht oder vollentwickelte Zellen, wie sie *Avsec* beschrieben hatte, nicht zu erwarten sein, d. h. die atmosphärischen Zellen würden im Zentrum offen sein.

Das Literaturverzeichnis kann bei der Redaktion angefordert werden.